

*Файншмидт Е. М., Пегашкин В. Ф., Шевченко О. И., Астафьев Г. И.*  
Нижнетагильский технологический институт (филиал)  
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет  
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»,  
г. Екатеринбург  
*marinpion@gmail.com*

## **НОВЫЙ СПОСОБ ЦЕМЕНТАЦИИ КРУПНОГО ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

Формообразующий инструмент пластической деформации металлов и сплавов, работающий в условиях поверхностного износа, наряду с общей высокой прочностью должен обладать высокой поверхностной твердостью [1]. Нами было показано, что повышение поверхностной твердости кузнечно-штамповочного инструмента на 2–5 единиц  $R_c$  позволяет увеличить эксплуатационную стойкость матриц и прошивных пуансонов при штамповке заготовок типа «снарядный стакан» в 1,8–2,5 раза [2]. Это обеспечивалось проведением в инструментальном цехе завода процессов химико-термической обработки (ХТО): газового азотирования, жидкостного борирования, цианирования.

Однако если термические цехи машиностроительных заводов, имея необходимое оборудование (специальные печи, ванны), проводят все перечисленные процессы ХТО, то инструментальные цехи металлургических предприятий, даже таких гигантов, как НТМК (Нижний Тагил), ВСМПО (Верхняя Салда) и др., таким оборудованием не располагают и производят деформирующий инструмент (эджерные валки колесопрокатных станов, матрицы горячего прессования, штампы и др.) без поверхностного упрочнения методами ХТО, даже несмотря на требования технической документации. Это связано главным образом с габаритами и массой указанного инструмента – от сотен килограмм до нескольких тонн. Необходимых печей промышленность не выпускает. Можно, конечно, использовать универсальные крупногабаритные печи (например, с выкатным подом). Так, Ю.А. Геллер [3] предлагает проводить цементацию рабочей поверхности крупных прессовых штампов из теплостойких сталей в твердом карбюризаторе при температуре 920–950 °С с последующей закалкой и отпуском. Однако на практике этот процесс затруднителен: во-первых, нужны печи с выкатным подом, а их зачастую нет; специальные контейнеры с засыпкой карбюризатором и герметизацией, распаковка которых после охлаждения вызывает обильное пыление (сегодня – экономически недопустимо); кроме

того, чем больше масса штампа, тем длительнее нагрев, что вызывает интенсивный рост зерна микроструктуры, тогда для измельчения зерна нужна дополнительная операция нагрева – нормализация.

Таким образом, процессы, которые могли бы удвоить срок службы прессовых штампов, практически не производятся.

Подобная ситуация описана Э. Гудремоном для крупногабаритных изделий [4]: в Германии во время войны (1942–1943 гг.) проводились исследования по увеличению поверхностной твердости бронелистов – цементация позволяет после термообработки получить поверхностный слой с твердостью до 60 HRC, что могло бы резко увеличить живучесть бронетанковой техники на поле боя (выше твердость поверхности – больше количество рикошетов снарядов). Однако в практике серийного производства бронелисты длиной до 6 м, массой до 10 т подвергнуть цементации в твердом карбюризаторе, даже несмотря на требования армии, на заводах Круппа не смогли.

Получить цементированный слой реально с помощью процесса электроискрового легирования (ЭИЛ). Процесс ЭИЛ основан на использовании импульсных искровых разрядов между электродами в газовой среде. Сущность нанесения покрытий и упрочнения поверхностей состоит в том, что искровой разряд разрушает материал анода, продукты эрозии которого переносятся на катод (обрабатываемую деталь). Перенос электродного материала происходит при температуре выше 3000 °С. Высокая температура в начале разряда вызывает плавление частиц электродного материала и их частичное испарение. Пары материала расширяются, сбрасывают с поверхности анода расплавленный материал, который попадает в газовую среду, осаждается на катоде и затвердевает. Вследствие кратковременности разряда, частицы материала, нанесенные на деталь, быстро охлаждаются. Таким образом, происходит закалка поверхностного слоя до повышенной твердости [5, 6].

При электроискровой обработке происходит диффузия нанесенного материала в расплав металла упрочняемого элемента детали, образование твердых растворов и мелкодисперсионных карбидов в результате быстрого затвердевания жидкой фазы и локальной закалки с большими скоростями охлаждения.

Покрытие, нанесенное на поверхность детали методом ЭИЛ, имеет прочную связь с основой, так как его образование сопровождается процессами диффузии.

В рассматриваемом способе цементации [7] в качестве легирующего электрода применяются литые стержни из белого чугуна (3–4 % углерода), охлаждаемые сжатым воздухом. При этом происходит насыщение поверхности изделий углеродом путем массопереноса с анода (электрод) на катод (изделие); углерод переходит в активную (атомарную) форму в процессе ионизации при распаде карбидов железа в зоне искры (температура свыше 3000 °С); высокая частота импульсов (1000 Гц) обеспечивается конструкцией эксклюзивного генератора с возможностью регулирования частоты [8].

Отрабатывались режимы электроискровой цементации образцов из стали 5ХНМ (закаленных, высокоотпущенных при температуре 500 °С), исследовались результаты от применения электродов (табл. 1) из материалов ВК6 (твердый сплав), БЧ (белый чугун, содержание углерода 4 %), графит.

Электроискровую цементацию проводили при следующих параметрах:

- частота импульсов 1000 Гц;
- технологический ток 5 А;
- напряжение холостого хода 150 В;
- емкость конденсаторов 600 мкФ;
- мощность генератора 10 кВт;
- материал электрода: белый чугун, твердый сплав, графит;
- охлаждение электрода: сжатый воздух;
- твердость материала инструмента 50 HRC;
- твердость цементированного слоя 60 HRC;
- толщина цементированного слоя 0,15 мм.

Таблица 1

Выбор оптимального электрода

Расход электродов на 1 дм <sup>2</sup>				Стоимость, руб./дм <sup>2</sup>
Материал электрода	Вес одного электрода, г	Расход электрода, г/дм <sup>2</sup>	Вес, г	
Белый чугун (4% углерода)	100	0,1	10	0,65
Твердый сплав ВК6	250	0,1	25	100
Графит	50	2	100	11,5

Эксплуатационную стойкость цементованного слоя оценивали по результатам испытаний на контактное трение на специальной установке при истирании поверхности образца на абразивном полотне.

В сравнении с закаленным высокоотпущенным образцом (без цементации) эксплуатационная стойкость растет в 1,8–2 раза (при цементации в твердом карбюризаторе – в 1,6 раза). Лучшие показатели можно объяснить мгновенной закалкой микрообъема стали от контакта с массой «холодного» металла.

Твердость поверхностного цементованного слоя при переводе в единицы Роквелла (первоначально производился замер микротвердости) составляет 59–60 HRC, что соответствует твердости цементованного слоя, полученного твердым карбюризатором. Например, после цементации и закалки штампа с последующим низкотемпературным отпуском.

Металлографические исследования показали, что на поверхности образца, подвергнутого цементации методом ЭИЛ, можно выделить три характерные зоны: 1 – верхний «белый» нетравящийся слой толщиной 18–20 мкм (цементит); 2 – диффузионный слой, толщиной 80–100 мкм; 3 – основной металл.

Таким образом, установлено, что с помощью цементации методом ЭИЛ можно обеспечить более высокий уровень свойств поверхностного слоя стали. Высокие свойства обеспечиваются за счет увеличения доли карбидной фазы в приповерхностных объемах металла. Установлено, что наилучшими характеристиками обладает покрытие, сформированное электроискровой цементацией без последующей термической обработки (табл. 2).

Так, в рассматриваемом способе цементации меняется технология обработки – штамп подвергается электроискровой обработке уже на финишной стадии – после закалки с высоким отпуском. В предлагаемом способе в процессе электроискровой обработки металл не нагревается, зерно не растет, нормализация не нужна. Расход электроэнергии на электроискровую обработку штампа составляет примерно 10 кВт·ч/т (при мощности генератора импульсов 10 кВт и времени обработки 1 час), против 600 кВт·ч/т при цементации в твердом карбюризаторе.

Таблица 2

Потеря веса образца при испытании на установке трения

Длина пути трения, м	Потеря веса образца, г		
	5 ХНМ без покрытия	5 ХНМ твердый карбюризатор	5 ХНМ электроискровая цементация
1	0,08	0,07	0,05
2	0,16	0,14	0,1

Предложенный способ электроискровой цементации является энергосберегающим, экономичным, не требует дополнительных площадей, может быть реализован практически в любом производстве.

Способ практически универсален: нами получено также боридное покрытие на стали 5ХНМ толщиной 0,1–0,12 мм с твердостью выше 64 HRc [9]. Затруднение – промышленность не выпускает борсодержащих электродов, приходилось получать их в лаборатории методами порошковой металлургии из порошков ферробора либо карбида бора.

### **Выводы**

1. Разработан способ цементации крупногабаритных изделий методом электроискрового легирования, не требующий закалки и отпуска цементованного слоя. Процесс осуществляется на универсальной установке электроискрового легирования (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид установки электроискрового легирования

2. Электроискровое насыщение поверхности изделия другими элементами (бором, хромом и т. д.) можно реализовать на том же оборудовании, используя соответствующие электроды [9].

3. Поверхностное электроискровое упрочнение матриц для прессования слитков титана (трехслойное покрытие) [10], внедренное на ВСМПО (Верхняя Салда), привело к повышению эксплуатационной стойкости матриц на прессе усилием 3150 т. с. в 4–5 раз (в зависимости от марки прессуемого титанового сплава) [11].

Электроискровое поверхностное упрочнение можно считать альтернативой ХТО для крупногабаритных изделий. Все процессы – энергосберегающие.

### Список источников

1. Лахтин Ю. М., Арзамасов Б. Н. Материаловедение. М., 2009. 527 с.
2. Файншмидт Е. М., Пегашкин В. Ф. Химико-термическая обработка инструмента для горячей штамповки // МиТОМ. 2000. № 7. С. 10–14.
3. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М.: Металлургия. 1968. С. 496–497.
4. Гудремон Э. Специальные стали : В 2-х т. М.: Металлургия. 1959. Т. 1. С. 764–765.
5. Поломошнов П. Ю. , Файншмидт Е. М., Астафьев Г. И. Об упрочнении инструмента электроискровым легированием // Материалы НТК «Наука – образование – производство» : В 3-х т. Нижний Тагил: НТИ(ф) УГТУ–УПИ, 2009. Т. 2. С. 32–33.
6. Мулин Ю. Н., Верхотуров А. Д. Электроискровое легирование рабочих поверхностей. Владивосток: Дальнаука, 1999. 110 с.
7. Астафьев Г. И., Файншмидт Е. М., Шевченко О. И. Способ цементации крупногабаритных изделий / Заявка на изобретение RU № 2011101248. 2011 г.
8. Пат. 83206 Российская Федерация, МПК В23Н 7/18. Генератор импульсов для электроэрозионной обработки / Астафьев Г. И., Файншмидт Е. М., Пегашкин В. Ф.
9. Пат. 2421307 Российская Федерация, МПК В23Н 9/00, С23С 8/32. Способ электроэрозионного борирования поверхностей изделий из стали и чугуна / Астафьев Г. И., Файншмидт Е. М., Пегашкин В. Ф.
10. Пат. 2304185 Российская Федерация, МПК В23Н 9/00, С23С 8/32. Способ нанесения упрочняющего покрытия с армирующим эффектом / Смирнов В. Г., Крашенинников Д. М., Файншмидт Е. М.
11. Файншмидт Е. М., Астафьев Г. И., Пегашкин В. Ф. опыт повышения эксплуатационной стойкости матриц для прессования слитков титана // Новый оборонный заказ. Стратегии. СПб. 2009. № 3 (5). С. 38–39.